Aus dem Anatomischen Institut der Universität Marburg
(Lehrstuhl I: Prof. Dr. J. W. Rohen)

Experimentell-histologische Untersuchungen über den Pecten des Vogelauges

INAUGURAL-DISSERTATION
zur Erlangung des Doktorgrades
der gesamten Medizin
der Hohen Medizinischen Fakultät
der Philipps-Universität Marburg/Lahn

Vorgelegt von
Karl Groos
aus Würzburg

Marburg/Lahn 1969

E. Symon · Foto-Druck · 355 Marburg/L. · Friedrichstr. 3

Aus dem Anatomischen Institut der Universität Marburg
(Lehrstuhl I: Prof. Dr. J. W. Rohen)

Experimentell-histologische Untersuchungen über den Pecten des Vogelauges

INAUGURAL-DISSERTATION
zur Erlangung des Doktorgrades
der gesamten Medizin
der Hohen Medizinischen Fakultät
der Philipps-Universität Marburg/Lahn

Vorgelegt von
Karl Groos
aus Würzburg

Marburg/Lahn 1969

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Angenommen von der Medizinischen Fakultät der Philipps-Universität Marburg/ Lahn
am 14.7.1969

Dekan: Prof. Dr. rer. nat. P. Karlson
Referent: Prof. Dr. med. J.W.Rohen
Correferent: Prof. Dr. med. W. Straub

Meiner Frau gewidmet

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41546018_0087

INHALTSÜBERSICHT

		Seite
I.	EINLEITUNG UND FRAGESTELLUNG	2
II.	MATERIAL UND METHODIK	18
III.	UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE	22
	A. Zur Histologie des Pecten im Taubenauge	22
	1. Äußere Form und allgemeiner Aufbau	22
	2. Gefäßsystem	23
	3. Der Bau der Gefäße und des Pigmentgewebes	23
	B. Histologische Veränderungen des Pecten nach einmaliger Injektion von Hyaluronidase in den Glaskörper	25
	C. Histologische Veränderungen von Pecten- und Irisgewebe nach mehrmaliger Injektion von Hyaluronidase in den Glaskörper	26
IV.	DISKUSSION	29
V.	ZUSAMMENFASSUNG	32
VI.	LITERATURÜBERSICHT	33

I. EINLEITUNG

Das Auge der Vögel nimmt in vieler Beziehung eine Sonderstellung ein. Neben dem Skleralring, den doppelten Ziliarmuskeln und der gefäßlosen Retina, besitzt es einen in den Bulbus vorragenden Pecten. Dieser Pecten, ein wellblechähnlich gefalteter, membranartiger "Fächer", ist ausserordentlich gefäßreich und wird durch ein pigmentiertes, gliöses Zwischengewebe gestützt. Er sitzt dem Sehnervenkopf am Fundus des Vogelauges breitbasis auf, reicht mit seiner Basis über die Papille in wechselnder Form über die Retina hinaus und ragt in (je nach Vogelart) verschiedener Ausdehnung in den Glaskörper gegen die Linse vor. In der Seitenansicht erscheint er trapezförmig. An seinem distalen, der Linse zugekehrten Ende liegt die sogenannte Brücke. Diese ist stärker pigmentiert und hält sozusagen am First des Pecten die leicht konvergierenden Falten zusammen. Die Pigmentierung des zwischen den Pectengefässen liegenden Gewebes nimmt gegen die Basis hin ab. Der Pecten wird allseitig von einer dünnen, epithelartigen Membran umgeben und ist dadurch vom Glaskörper getrennt. Hauptsächlich vom Brückenbereich aus ziehen cytoplasmatische Fortsätze durch den Glaskörper meist zum Limbus hin. Die zuführenden Gefäße zweigen von einem in der Basis des Pecten gelegenen Basalgefässes ab und verlaufen innerhalb der einzelnen Falten gegen die Brücke zu. Diese schicken ihr Blut dann in die zahlreich vorhandenen Kapillaren, die den Hauptteil des Pecten ausmachen. In weitlumigen, auf Querschnitten fast nur in den Faltenbiegungen anzutreffenden Gefäßen wird das Blut schließlich wieder ab-

geführt und ergießt sich in die um den Optikus herum gelegenen Sinus, die auch das Blut der Chorioidea und der Ziliargefäße aufnehmen. Histologisch besteht der Pekten aus Gefäßen verschiedener Größenordnungen, Pigment- und Gliagewebe; andere Gewebsbestandteile wie Nerven, Muskelfasern oder bindegewebiges Stützgewebe sind im Pecten nicht zu finden.

Bisherige Literatur

Als einer der ersten erkannte MIHALKOVICS (1873) den besonderen Aufbau des Pecten und seiner Kapillarwände, deren Endothelzellen von einer strukturlosen, homogenen Membran umgeben sind, während der zwischen den Kapillaren gelegene Raum von einer gallertartigen Masse mit Pigmentgranula ausgefüllt wird. Als Quellgebiet der Pectengefäße sah MIHALKOVICS ausschließlich die Arteria ophthalmica an, die um den Nervus opticus herum verläuft und einen Ast zur Basalarterie des Pecten schickt. Von diesem zweigen dann senkrecht nach oben die einzelnen Faltengefäße ab. Der Pecten entwickelt sich nach MIHALKOVICS in der Augenspalte erst nach dem Auftreten der Glaskörperflüssigkeit. Die Bedeutung des Pecten soll nach MIHALKOVICS in der Ernährung der Retina, der ja Eigengefäße fehlen, liegen. 1875 beschrieb BEAUREGARD aufgrund ophthalmologischer Beobachtungen bestimmte Bewegungen des Pecten. Er unterschied zwischen übertragenen Bewegungen seitens des Kopfes, Bewegungen, die durch die Nickhaut ausgelöst werden und pulsierenden Bewegungen, die durch die Zirkulation in den Pectengefäßen selbst zustande kommen. Da im Pecten keine nervalen und muskulären Elemente gefunden wur-

den, werden Eigenbewegungen des Pecten allgemein abgelehnt, was u.a. auch von ABELSDORFF (1910) experimentell nachgewiesen worden ist.

Die funktionelle Bedeutung des Pecten liegt nach BEAUREGARD in der Trennung von monokularem und binokularem Sehen. Dabei sollen bei monokularer Fixation die Bilder des anderen Auges unterdrückt werden.

Um die Jahrhundertwende entstand eine Diskussion über die Zugehörigkeit des Pecten zur Chorioidea. Die einen Autoren betrachteten den Pecten als einen zusätzlichen Teil der Chorioidea (LEUCKART 1876, KESSLER 1877), andere fanden keine Verbindung zur Aderhaut. DENISSENKO 1880 schloß sich der letzteren Meinung an. Er stellte klare morphologische Unterschiede zwischen der Pecten- und der Chorioidea-Struktur fest: die Pectenkapillaren werden von einer Adventitia mit einer umhüllenden hyalinen Membran umgeben, die bei den Chorioideagefäßen fehlt. Weiterhin konnte er zwischen Adventitiazylindern und Gefäßwand kleine Zwischenräume feststellen. Außerhalb dieser Zylinder befinde sich eine homogene, pigmentierte Schicht, die nach seiner Meinung das tragende Gewebsgerüst für die Pectenkapillaren darstellt.

RABL (1898) geht näher auf die Akkommodation des Auges ein. Im Pecten sieht er einen Druckregulator, der eine Rolle beim Akkommodationsvorgang spielt. Im Zusammenhang mit dieser Feststellung findet er bei Vögeln mit guter Akkommodationskraft einen großen und

gut entwickelten Pecten, das umgekehrte Verhältnis soll bei Vögeln mit geringer Akkommodationsbreite vorliegen.

FRANZ (1908) brachte einen völlig neuen Gesichtspunkt in die Diskussion, indem er den Pecten als ein Sinnesorgan ansah. Dieser enthalte Neurofibrillen, denen sich die Pigmentgranula anlagern. An der Oberfläche seien Sinneshaare zu finden, die ihre Fortsetzung in feinsten Nervenfasern haben. Besonders an der Brücke glaubte er, besondere Sinnesorgane in Form von Kölbchen gesehen zu haben, mit Beziehungen zur Gefäßwand. Auf dieser Grundlage baut er nun seine Theorie über die Bedeutung des Pecten auf. Er vergleicht ihn sogar mit dem Aufbau der Retina und sieht in ihm ein Druck-perzipierendes Organ. Der Pecten sei ein Derivat des Sehnerven. Die Pigmentierung und auch die Gefäße hätten hauptsächlich die Aufgabe, die Nervenfasern vor Belichtung zu schützen und störende Lichtreflexe zu vermeiden. Außerdem soll der Pecten die intraokularen Druckschwankungen während der Akkommo - dation registrieren können. Letztlich ist er der Meinung, daß außer dem Gefäßendothel der gesamte Pecten sowie auch die Gefäßscheiden aus nervösem Gewebe bestehen würden. Diese Theorie ist jedoch von allen anderen Autoren abgelehnt worden, da bei eingehenden histologischen Untersuchungen im Pecten keine Nervenfasern, auch nicht Sinneshäarchen irgendwelcher Art oder receptorische"Kölbchen"gefunden werden konnten.

Aus den Untersuchungen von ABELSDORFF und WESSELY (1909), die sich hauptsächlich mit den Augenflüssigkeiten befaßten, geht hervor,

daß eine Glaskörperregeneration möglicherweise von der Chorioidea und vom Pecten ausgehen kann. Nach Entfernung des Ziliarkörpers stellten sie eine numerische Hypertrophie des ganzen Pecten fest und faßten diese als einen Kompensationsvorgang in Zusammenhang mit der nutritiven Aufgabe des Ziliarkörpers auf. Weiterhin folgern die Autoren, daß neben dem Ziliarkörper auch der Pecten an der Ernährung des Glaskörpers beteiligt ist. Die Versorgung der Retina geht nach der Meinung dieser Autoren von der Chorioidea aus, nicht vom Pecten wie MIHALKOVICS und DENISSENKO vermutet hatten.

Eingehend beschäftigt sich E. VON HUSEN (1913) mit der Histologie, Embryologie und Funktion des Pecten. Eine sinnesorganähnliche Funktion lehnt diese Autorin völlig ab. Sie konnte auch mit Spezialfärbungen keine Nervenfasern finden. Das Pigment habe keine Ähnlichkeit mit dem der Chorioidea, sondern vielmehr mit dem von Iris und Ziliarkörper. Der Pecten bestehe aus Neuroglia mit Zellanastomosen und flüssigkeitsgefüllten Interzellularräumen. Mesodermalen Ursprungs seien nur die Gefäßendothelien und ihre homogenen Grenzmembranen, die mit der Membrana limitans (gliae) an die Neuroglia angrenzen. Die funktionelle Bedeutung des Pecten sieht die Autorin in der Produktion von Glaskörperflüssigkeit und in der Druckregulation im Augenbulbus. In der embryonalen Entwicklung des Pecten finde man einen Mesodermalkeim und die ektodermale Pectenanlage. Diese seien beide durch Fibrillenbildung am Aufbau des embryonalen Glaskörpers beteiligt.

SLONAKER (1918) beschäftigte sich vor allem mit den Pectengefässen. Die Basalarterie des Pecten wird von einem Ast der A. ophthalmica externa gespeist und entspricht der A. hyaloidea der Säugetiere. Der Verlauf der Gefäße entspricht den Beschreibungen früherer Autoren. Aufgrund der gefalteten Membranstruktur des Pecten vergrößert sich die Oberfläche erheblich, was zusammen mit dem reichlichen Gehalt an Blutgefäßen für eine ernährende Funktion des Pecten spricht. Dabei sollen die äußeren Lagen der Retina von der Chorioidea und die inneren durch die Vermittlung der Glaskörperflüssigkeit vom Pecten aus versorgt werden. Der Autor lehnt die Theorien ab, die besagen, der Pecten sei ein Sinnesorgan, eine optische Einrich - tung zum monokularen und binokularen Sehen, oder ein druckregulatorisches Organ.

Nach MANN (1924) ist der Pecten ektodermalen Ursprungs. Die mesodermalen Gefäße sprossen erst sekundär in ihn ein. Er übernehme im Sinne der A. centralis retinae die Ernährung der Retina und habe keine Beziehung zur Akkommodation. Außerdem könne man vielleicht den Pecten als ein hydrodynamisches System ansehen, das den intraokularen Druck möglicherweise durch passive Kompressibilität der Gefäße (aktive Regulation ist infolge der fehlenden kontraktilen Ele - mente überhaupt nicht möglich) reguliere. Der Autor glaubt, daß dies notwendig wäre, da der Bulbus der Vögel durch seine starre Sklera und seinen halbflüssigen Inhalt Druckschwankungen auf andere Weise schlecht ausgleichen könne.

In umfangreichen Studien zur Entwicklung des Pecten bestätigt MENNER (1938) später nochmals den ektodermalen Ursprung des Pecten. Das Pigment erscheint relativ spät. Am freien Rand des Pecten beteiligt sich dessen Gewebe auch am Aufbau des Glaskörpers. Bei seiner histologischen Beschreibung des Pecten und der Retina macht er auf Unterschiede im Bau der Retina außerhalb und unterhalb des Pecten aufmerksam. Dabei erscheint die außerhalb des Pecten befindliche Netzhaut normal mit durchschnittlich zwei Zelllagen, der unter dem Pecten gelegene Anteil ist stets einreihig mit einer stark markhaltigen Nervenfaserschicht. Die Stäbchen- und Zapfenschicht ist im Vergleich zu dem Netzhautanteil unterhalb des Pecten unregelmässig und reduziert. MENNER beschreibt im Gegensatz zu älteren Autoren klar abgrenzbare, reichlich dendritisch verzweigte Gliazellen mit kleinen Zellkernen und Nukleolen. Je nach Vogeltyp (z. B. Nacht- oder Tagraubvögel) füllen die Gliazellen die Lücken zwischen den Gefäßen verschieden dicht aus. Nach Bleichung der Pigmentgranula, die ebenfalls in Größe und Dichte individuell verschieden sind, erkennt MENNER am Glaskörperrand Übergänge von Gliazellen in breite Fortsätze und feinste Plasmazipfel, welche nur bis an die Membrana hyaloidea des Glaskörpers reichen (VON HUSEN sah Fortsätze dieser Zipfel auch noch im Glaskörper selbst). Diese Fortsätze wurden wahrscheinlich von FRANZ als Nervenfasern angesehen.

MENNER teilt die Gefäße des Pecten je nach ihrem morphologischen Aufbau in verschiedene Typen ein und ordnet jedem Typ eine bestimmte

Aufgabe zu. Er unterscheidet:

1.) Arterien mit dünnem Endothel, dessen Kerne sich leicht ins Lumen vorbuchten. Sie besitzen nach außen zu ein Grundhäutchen und eine Plasmalage mit 4 - 5 großen gestreckten Kernen, die sogenannten Pericyten. Dieser Gefäßaufbau entspräche den Blut - kapillaren im Wirbeltierkörper.

2.) Venen ohne Grundhäutchen, über deren Endothelkernen aufgesplitterte Plasmalappen ins Gefäßlumen vorspringen, die nicht in einer Längsreihe angeordnet sind.

3.) Pectenkapillaren: Relativ dickwandig, mit sehr engem Lumen, bei denen MENNER in der Wand eine feine Streifenzeichnung fand.

4.) Schließlich werden die Brückenvenen mit dünner Wandung ohne Grundhäutchen, relativ weitem Lumen und Vorbuckelungen der Endothelkerne nach außen beschrieben.

Aufgrund der weiten Lumina der Brückengefäße und der enganliegenden Membrana hyaloidea nimmt MENNER einen Stoffaustausch zwischen Glaskörper und Pecten im Brückenbereich an. Die Ernährung könnte aber nicht ausreichend sein, sondern müsse deshalb besonders bei dem stark reduzierten Pecten bestimmter Vögelarten auf andere Weise erfolgen. Die Retina würde ausschließlich von der Chorioidea versorgt, da die Pectenkapillaren dafür ungeeignet seien.

Die Pectenvenen mit ihren lumenwärtsreichenden Plasmalappen könnten in der Lage sein, eine Blutstauung im Pecten zu verursachen, damit die Festigkeit des Pecten zu erhöhen und gleichzeitig eine

Diffusion von Nahrungsstoffen im Glaskörper zu begünstigen. Die wichtigste Bedeutung des Pecten sieht MENNER in der Erhöhung der Empfindlichkeit des Auges für die Wahrnehmung von Bewegungsvorgängen. Weiterhin bringt der Autor den Pecten mit seiner Schattengröße und Konfiguration in Zusammenhang mit dem Nahrungserwerb des betreffenden Vogels. Er unterscheidet Tagraubvögel mit großen Pectenschatten und fingerförmigen Ausziehungen der Schattenränder. Diese Vogel erspähen ihre Beute meist aus großen Höhen. In der Einteilung folgen insektenfressende Vögel mit Pectenschatten, die dem Mitteltyp entsprechen und ihre bewegliche Nahrung aus geringer Entfernung erbeuten. Schließlich unterscheidet er noch die Nachtraubvögel, deren Pectenschatten klein sind, die sich meist von unbeweglichen Beutetieren aus geringer Entfernung ernähren.

MENNER`s anschauliche Theorie über die Bedeutung des Pecten zur Erhöhung der Empfindlichkeit für das Bewegungssehen, wurde die Grundlage für CROZIER` und WOLF`s (1942) Untersuchungen über "Flicker-responses". Diese experimentellen Analysen bestätigten, daß der Pecten für das Bewegungssehen von großer Bedeutung ist.

In Anlehnung an MENNER`s Arbeit hat TANAKA (1938) die verschiedenen Gefäßtypen im Pecten japanischer Vögel näher untersucht, deren Formvariabilität bei den einzelnen Species sehr groß ist. Erst LEINER konnte feststellen (1951), daß der Pecten einen sehr hohen Gehalt an Kohlensäurehydrasen hat, die $CO_{2+}H_2O$ zu H_2CO_3 katalysieren. Aufgrund dieser Tatsache und der hohen Aktivität dieses Enzyms im Pecten

wird dessen wesentliche Bedeutung in der Regulation des Gasstoffwechsels gesehen. Je stärker die Retina belichtet wird, umso höher werden die Gasaustauschprozesse. Entsprechend haben die sogenannten Nachtraubvögel keine Pecten mit geringem Kohlensäureanhydrase-Gehalt. Eine Bedeutung des Pecten für das Bewegungssehen wird von LEINER bestritten. LEINER's Ergebnisse wurden von KAUT und SOMMER bestätigt und durch weitere experimentelle Untersuchungen ergänzt. Danach besteht eine gewisse Proportionalität zwischen dem Kohlensäureanhydrase-Gehalt von Retina, Linse und Pecten. Wird der Pecten koaguliert, so steigt die Kohlensäureanhydrase-Aktivität in der Retina an. Interessant ist die Feststellung, daß der Enzymgehalt nesthockender Jungvögel noch gering ist und nach der Nestflucht langsam ansteigt.

Da ein bestimmter CO_2-Druck für die Funktion der Retina notwendig ist (GRAIG und BEECHER 1942), müßte der Pecten aufgrund der experimentellen Ergebnisse ein Respirationsorgan sein, das O_2 abgibt und CO_2 aufnimmt und somit den CO_2-Druck zusammen mit der Linse und Retina im Vogelauge reguliert.

ROHEN (1953) beschreibt unter anderem eingehend das Gefäßsystem des Pecten. Von der basalen Pectenarterie, die sich nicht in der ganzen Länge des Pecten erstreckt, steigen die einzelnen Pectenarterien-Stämme jeweils in der Falten-Mitte hoch und lösen sich nach beiden Seiten in die Pectenkapillaren auf. An den Faltenkanten befinden sich meist die Venen, die mehrere Gefäßstämme aufnehmen und in den Seh-

nervenplexus münden. In den aus mehreren sinusartig erweiterten Venen bestehenden Plexus in der Nähe der Lamina cribrosa münden weitere Venen aus dem Augeninneren ein.

Die zentrale Pectenarterie, ein Ast der A. ophthalmica temp., zieht durch die Optikusscheide bis zur Basis des Pecten und kann als eine besondere Form einer hinteren Ziliararterie angesehen werden. Ferner existiert ein ausgedehntes venöses Venengeflecht am N. opticus, der möglicherweise für die Durchblutungsregulation im Vogelauge von Wichtigkeit ist. Im Bereich des Sehnerven fand ROHEN nämlich a.-v. Anastomosen epitheloidzelligen oder arteriolenähnlichen Charakters zwischen der Pectenarterie, beziehungsweise A. ophthalmica und den Venen des Sehnervenplexus sowie im ganzen Orbitalbereich. Die Bedeutung dieser Anastomosen liegt wohl hauptsächlich in der Stromregulation des Blutes. Speziell für den Pecten könnten sie gewisse Druckregulatoren zum Ausgleich von intraokularen Druckschwankungen oder beim Auftreten von Zentrifugalkräften beim Sturz- oder Kurvenflug darstellen. Ebenso macht die wechselnde Beanspruchung der Retina etwa beim Nacht- oder Tagsehen eine Regulation der Chorioidea-Blutzufuhr notwendig. In der Diskussion vermutet ROHEN, daß der Pecten und auch die Chorioidea mehr eine trophische, evtl. auch druckregulatorische Funktion im Vogelauge als eine optische besitzen.

O`RAHILLY und MEYER (1961) fanden bei biochemischen Unter - suchungen im Lichtmikroskop eine PAS-positive Basalmembran an

den Kapillarwänden. Die äußeren Schichten dieser Membranen reagieren mit Alzian-Blau und sind PAS-positiv. Diese Membranen scheinen mit einer Grenzmembran, welche den Pecten vollständig umgibt, in Verbindung zu stehen.

Elektronenmikroskopisch sahen TANAKA (1960) und SEAMAN (1962) an den Zellgrenzen des Pecten-Endothels charakteristische Falten und Mikrovilli. Diese Beobachtungen lassen an einen lebhaften Flüssigkeitstransport zwischen den Blutgefäßen und dem extravasalen Raum bzw. dem Glaskörper denken. Ultrastrukturell lassen sich nach SEAMAN (1962) an den endothelialen Zellen zwei stark gefaltete Membransysteme erkennen: eine marginale Zone von feinen Plasmafortsätzen und ein basal gelegenes zytolemmales Labyrinth. Beide werden zur Kapillarwand wie auch zum Pigmentgewebe hin von einer dickeren fibrillären Membran abgegrenzt. Die Morphologie dieser Membransysteme wie auch die experimentellen Versuche lassen Beziehungen zum aktiven Wassertransport vermuten.

SEMBA (1962) bestätigte die Befunde von O` RAHILLY und MEYER. Anhand von elektronenmikroskopischen Serienschnitten der Endothelzellen findet er jedoch keine eindeutigen Ausstülpungen der Endothelzellmembranen in Form von Mikrovilli, sondern eher faltenartige Fortsätze mit vielen kleinen Vesikeln. Die äußere Gewebslage charakterisiert SEMBA als Bindegewebe welches den Raum zwischen Kapillaren und Pigmentzellen ganz ausfüllt. Die Pigmentzellen mit relativ großen Pigmentgranula, gut entwickeltem Golgi-Apparat und

multivesikulären Körpern scheinen nach SEMBA funktionell von Bedeutung zu sein. Die freie Oberfläche des Pecten wird von flachen Zellen wahrscheinlich gliöser Natur unvollständig umgeben. Diese Zellen senden cytoplasmatische Fortsätze durch den Glaskörper bis zur peripheren Uvea.

SEAMAN und HIMMELFARB (1963) senkten für eine bestimmte Zeit, möglichst unter physiologischen Bedingungen, den intraokularen Druck mit Hilfe von Diamox-Injektionen. Anschließend machten sie elektronenmikroskopische Untersuchungen am Pecten und Ziliarkörper. Es fiel den Autoren eine erhebliche Transformation der Membransysteme auf. Weiterhin konnte eine Zunahme der Vesikel und eine Schwellung der Mitochondrien beobachtet werden. Darüber hinaus zeigte auch das pigmenttragende Gewebe ultrastrukturelle Veränderungen (Verdichtung der cytoplasmatischen Matrix und Zunahme der Mitochondrien an Zahl und Größe u.ä.)

Die Bedeutung dieser ultrastrukturellen Veränderungen sehen SEAMAN und FISCHLSCHWEIGER (1963) in einer Zunahme der Aktivität des Flüssigkeitstransportes. Im Pigmentgewebe sei dabei das energetische Depot und die Quelle für den Flüssigkeitstransport der benachbarten Endothelzellen zu sehen. Der Pecten sei also eine wichtige Einrichtung für die Aufrechterhaltung des intraokularen Druckes im Vogelauge, wobei auch der Ziliarkörper wesentlich mitwirke.

SEAMAN und STORM (1966) untersuchten dann später auch die Passage von elektronendichten Partikeln durch die Wand der Pectengefäße. Diese "Tracer" wurden in den cytoplasmatischen Vesikeln und in der grobkörnigen, fibrillären Basalmembran wiedergefunden. Die Autoren machten es somit wahrscheinlich, daß eine demonstrable endokapilläre Begrenzung, ein Polysaccharid-Protein-Komplex, als Kationenaustauscher fungiert und die Ionenbindung als initialer Schritt für den Transport innerhalb der Vesikel anzusehen ist.

Die Existenz von Polysacchariden konnten allerdings RAVIOLA und RAVIOLA (1967) nicht bestätigen. Sie sehen im aktiven Transport der Endothelzellen die einzige vernünftige Erklärung für die Formbesonderheiten der Endothelzellen der Pectengefässe. Die relativ geringe Zahl an Mitochondrien ist auch nicht als ein zwingender Einwand anzusehen. Es ist denkbar, daß der aktive Transport hauptsächlich durch anaerobe Glykolyse getragen wird.

Problemstellung

Wie die Literaturübersicht zeigt, ist die funktionelle Bedeutung des Pecten auch heute noch trotz der zahlreichen Arbeiten ungeklärt. Andererseits sind sowohl histologisch als auch ultramikroskopisch zahlreiche Strukturbesonderheiten nachgewiesen worden, die auf eine besondere Aufgabe dieses eigenartigen Organs hinweisen.

Da die Retina der Vögel keine Blutgefäße besitzt, obwohl sie unter denen der Nichtsäuger am höchsten differenziert ist, liegt der Gedanke nahe, daß die Stoffwechselvorgänge der inneren Netzhautschichten aus anderen Quellen unterhalten werden. Hier bietet sich das Pectenorgan, das - wie die früheren Arbeiten gezeigt haben - ja außerordentlich reich vaskularisiert ist und dessen Gefäße einmalige feinstrukturelle Besonderheiten zeigen, besonders an. Die neueren elektronenmikroskopischen Beobachtungen über die basalen Einfaltungen und den Mikrovillibesatz der Kapillarendothelien im Pecten weisen auf einen lebhaften Flüssigkeitsaustausch mit der Umgebung hin. Diese Umgebung ist der Glaskörper und die angrenzende Retina. Wie ROHEN schon vor Jahren vermutet hat, besteht daher möglicherweise eine stoffwechselphysiologische Beziehung zwischen Netzhaut und Pecten, dessen Gefäße vermutlich die bei den Vögeln fehlenden Retinagefäße ersetzen. Um diese Beziehungen weiter aufzuklären, wurde in der vorliegenden Arbeit das reaktive Verhalten des Pecten nach partieller Zerstörung des Glaskörpers mittels intravitrealer Hyaluronidaseinjektion mit verschiedenen histologischen und histochemischen Methoden untersucht. Da der Glaskörper das Bindeglied in der genannten funktionellen Kette darstellt,

müßte sich die Unterbrechung dieses Stoffwechselweges in struktu-
rellen Veränderungen der übrigen Glieder des Systems äußern.

II. MATERIAL UND METHODIK

Für unsere experimentellen Untersuchungen wurden ausschließlich Tauben verschiedenen Alters und Geschlechtes verwendet. In Narkose injizierten wir 150 bis 300 Einheiten Hyaluronidase (Kinetin, Schering) unter Antibiotikaschutz in den hinteren Augenabschnitt. Die Tiere wurden nach 1, 2, 3, 5 und 10 Tagen getötet. In einigen Taubenaugen wurde nach 7 Tagen ein zweites Mal Kinetin gespritzt und das Tier dann in gleichem zeitlichen Abstand getötet. Je nach Versuchsreihe wurde entweder der Kopf abgetrennt oder die Augen in Äthernarkose enukleiert. Schließlich wurden durch die Pectengefäße die Organe fixiert. Dazu wurde Glutaraldehyd in die A. carotis communis injiziert, dann die Köpfe präpariert und anschließend für etwa 5 bis 8 Tage in einer Formalinlösung nachfixiert. Anschließend erfolgte die Präparation der Augen, wobei besonderer Wert darauf gelegt wurde, beide Augen in ihren Orbitae zu belassen. Knochen- und Knorpelanteile wurden aber möglichst restlos entfernt.

Die getrennt enukleierten Augen wurden in gleicher Weise präpariert und möglichst rasch in das Fixierungsgemisch nach FLOREZ gebracht. Dabei wurde der Pecten bis auf ein kleines Stück Retina, Chorioidea, Sklera und Sehnerv frei präpariert und für kurze Zeit in die Fixierungslösung eingelegt.

Je nach der Fixierungsmethode war für die Paraffineinbettung eine bestimmte Zwischenbehandlung der fixierten Gewebsstücke notwendig: Nach Formalinfixierung folgte die Wässerung, dann aufsteigende Al-

koholreihe, Einlegen in Zedernholzöl, Paraffin-Paraplasteinbettung. Bei der Fixierung nach FLOREZ war eine Methylbenzoat-Auswaschung vor der Paraffineinbettung notwendig. Die eingebetteten Paraffinpräparate wurden in Stufenserien geschnitten. Die Serienschnitte der Augen in toto oder des isolierten Pecten wurden mit dem üblichen Mikrotom der Fa. JUNG in 8 bis 10 µ Dicke hergestellt. Die Schnittebenen wurden einmal weitgehend senkrecht bis schräg und dann parallel zur Basis des Pecten orientiert.

Etwa die Hälfte aller Präparate wurde in 4 % Wasserstoffsuperoxyd für 2 bis 3 Tage gebleicht, da die oft dicht liegenden Pigmentgranula die histologischen Beobachtungen der Gewebsstrukturen stark erschweren.

Neben der HE-Färbung wurden einzelne Präparate aus den Serien mit Alcianblau und PAS (Perjodat-Schiff-Reaktion), andere nach van-Gieson bzw. mit einer Modifikation der Gomory-Methode gefärbt. Zu allen Versuchsaugen wurden entsprechende Kontrollen unbehandelter Augen hergestellt und in gleicher Weise behandelt.

Tauben	Injektion von Hyaluronidase (Amelin)		Behandlung	Tötung	Befund
	re	li			
T_1	150 E	150 E	beide Augen zusammen eingegeben	sofort nach Injektion	Susa des ge Kopfes
T_2	150 E	150 E	beide Augen zusammen	1. Tag nach Injektion	Susa des ge Kopfes
T_3	150 E	150 E	beide Augen zusammen	2. Tag nach Injektion	Susa des ge Kopfes
T_4	150 E	150 E	beide Augen	5. Tag nach Injektion	Susa
T_5	150 E	150 E	beide Augen	10. Tag nach Injektion	Susa
T_6	150 E		beide Augen	1 Tag nach Injektion	10 % Form ganzen Kopf
T_7	150 E		beide Augen	2. Tag nach Injektion	10 % Form
T_8	150 E mit Entlastungs - stich	150 E	beide Augen	5. Tag nach Injektion	10 % Form
T_9	150 E mit Entlastungs- stich	150 E	beide Augen	10. Tag nach Injektion	Form 10 %
T_{10}		100 E nach 7 Tg. 100 E	beide Augen	8 Tage nach 1. Injektion	10 % Form
T_{11}	100 E nach 7 Tg. 100 E		beide Augen	8 Tage nach 1. In - jektion	10 % Form
T_{12}	100 E nach 7 Tg. 100 E	100 E nach 7 Tg 100 E	beide Augen	10 Tage nach 1. Injektion	10 % Form

Tiernr.	Injektion von Hyaluronidase (Einheiten)		Perfusion	Intervall	Fixierung
T_{13}	100 E nach 1 Tg. 100 E	/	beide Augen	12 Tage nach 1. Injektion	10 % Formalin
T_{14}	100 E nach 1 Tg. 100 E	/	beide Augen	17 Tage nach 1. Injektion	10 % Formalin
T_{15}	/	/	re Pecten	in der Narkose	20 Min. Glutaraldehyd-perfusion (5 %)
T_{16}	/	/	li Pecten	bei Narkose	Spülung mit 1 % Glutaraldehyd, 1 Tag in Saccharose
	/	/	re Pecten	bei Narkose	8 Tage in Saccharose
T_{17}	/	/	li Pecten	Kopf abgeschnitten	10 Min. nach Tötung in FF-Lösung für 45 Min.
	/	/	re Pecten	Kopf abgeschnitten	15 Min. nach Tötung in FF
T_{18}	/	150 E nach 3 Tg. 150 E	li Pecten	6 Tage nach 1. Injektion	10 Min. nach Tötung in FF für 5 Min.
T_{19}	150 E	/	re Pecten	5 Tage nach Injektion	FF für 20 Min.
		/	li Pecten	5 Tage nach Injektion	FF für 5 Min.
T_{20}	/	300 E	li Pecten	3 Tage nach Injektion in li Bulbus	FF für 2 Min.
	300 E		re Pecten	2 Tage nach Injektion in re Bulbus	FF für 3 Min.

III. UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE

A. Zur Histologie des Pecten im Taubenauge

1. Äußere Form und allgemeiner Aufbau

Die annähernde Trapezform des Taubenpecten ist schon makroskopisch und noch deutlicher im Stereomikroskop zu erkennen. Das Pigment läßt den Pecten dunkelbraun bis schwarz erscheinen. Dichter pigmentiert erscheint die sog. Brücke am distalen Ende des membranös erscheinenden Organs, die die etwas konvergierenden Falten des Pecten überspannt und diese so zusammenzuhalten scheint. Im dorso-temporalen Bereich des Pecten endet die Brücke ziemlich nahe der Pectenbasis. Die 15 bis 18 Falten des Pecten erreichen nicht alle die Brücke und haben von der Basis bis zur Brücke gemessen unterschiedliche Länge. Durch diese wellblechartige Faltung wird die Pectenoberfläche um ein Vielfaches vergrößert.

Der Pecten ragt weit über die Papilla nervi optici heraus und bedeckt mit seiner Basis einen Teil der Retina. Er nimmt etwa 1/3 der Entfernung Opticuspapille - Linse ein. Die Trennung des Pecten vom Glaskörper ist stumpf möglich, wobei vorsichtig vorgegangen werden muß, da einige fibrilläre Fäden von der Brücke und den distalen Pectenfalten in den Glaskörper hineinziehen. Mikroskopisch fällt der außerordentliche Gefäßreichtum und die gegen die Brücke hin stark zunehmende Pigmentation auf. Die Brücke sitzt dem nach distal leicht verschmälerten Pecten als dreiecksförmiges Gebilde auf; die Pigmentgranula sind hier so dicht angeordnet, daß sie kaum eine Beurteilung der spärlicher vorhandenen Gefäße zulassen. Der Pecten wird von einer hyalin

[illegible] Membran vollständig umgeben. Von dieser ziehen, [illegible] mit vereinzelt eingestreuten Kernen in Richtung Limbus.

2. Gefäßsystem

Auf Gefrierschnitten läßt sich nur ein [illegible] Basalarterie an der Basis des Pecten verfolgen. Zwei [illegible] ab und laufen nach oben in Richtung der Brücke. Ihr Lumen ist weit und verschieden dicht mit kernhaltigen, roten Blutkörperchen gefüllt. Sie sind in Ein- oder Mehrzahl vorhanden und werden meist [illegible] netz. Die einzelnen Venenstämmchen vereinigen sich zu einer größeren, basal gelegenen Vene, [illegible] venosus nervi optici zieht.

3. Der Bau der Gefäße und des Pigmentgewebes

Lichtmikroskopisch können die Pectengefäße in zwei deutlich unterscheidbare Typen eingeteilt werden. Einmal die in der Faltenmitte des Pecten angeordneten, zuführenden Gefäße mit relativ weitem Lumen. Das ziemlich schmale Endothel ist von einer unregelmässigen

Lage ovaler bis abgeplatteter Zellen umgeben. Es folgt eine hyalin erscheinende stark perjodat-reaktive Membran, welche die Endothelzellen einschließt. Nach außen hin folgt eine weitere Hülle, in welche abgeflachte Zellkerne (=Pericyten nach MENNER) eingebettet sind. Die hyaline Lage stellt die Basalmembran der Gefäße dar,die aus einer Grundsubstanz und Mikrofibrillen besteht (FISCHLSCHWEIGER und O` RAHILLY 1968). Endothelzellgrenzen können lichtmikroskopisch meist nicht deutlich nachgewiesen werden.

Zu dem zweiten Gefäßtyp können die Kapillaren und die abführenden, weitlumigen Gefäße an den Faltenkanten gerechnet werden. Das Endothel ist lumenwärts und basal mit einem quergestreiften Saum versehen. Um diesen basalen Saum liegt eine fibrilläre Hülle, die PAS-positiv ist und nach O` RAHILLY und MEYER in drei Schichten zerfällt: eine mittlere schwach gefärbte Schicht wird außen und innen von je einer PAS-positiven Lage begrenzt. Diese Dreischichtung ist lichtmikroskopisch schwer zu erkennen. Oft sind noch fusiforme Zellen der äußeren Oberfläche des Endothels aufgelagert. Die zwischen den dicht gedrängten Kapillaren bestehenden Zwischenräume werden von Pigmentzellen ausgefüllt. In ihnen befinden sich kleine braun - schwarze Granula in wechselnder Zahl, meist in der Nähe des ovalen, chromatinreichen Kerns. Da das Pigment von oxydierenden Substanzen leicht gebleicht wird, können die Granula als Melanin angesehen werden. Die Form der Pigmentzellen ist vielgestaltig. Dendritenartige Zellfortsätze füllen den schmalen Zwischenraum völlig aus. Solche Fortsätze liegen auch zwischen der Pectenoberfläche und

den äußeren Gefäßen.

Eine gewisse Sonderstellung in der Struktur des Pecten nimmt die Brücke ein. Hier liegen die dicht mit Pigmentgranula besetzten Zwischenzellen in Strängen angeordnet. Die Maschen dieses Netzwerkes werden von Kapillaren eingenommen. Auch hier findet man eine PAS-positive Schicht um die Brückengefäße, die von einem fibrillären Mantel eingekleidet wird. Schließlich trennt eine PAS-positive Schicht das dicht anliegende Pigmentgewebe von den Gefäßwänden. Eine solche perjodatreaktive Membran umgibt vollständig die Oberfläche der Brücke. Diese Membran folgt auch ununterbrochen den gewundenen Konturen des Pecten und geht kontinuierlich entlang der Basis des Pecten in die innere Begrenzungsmembran der Retina über. An der Oberflächenmembran des Pecten, meist im Basisbereich, findet man endothelähnliche Zellen. Ihr Cytoplasma ist hell. Der mittelständige Kern erscheint chromatinreich mit mehreren Nucleoli. Von diesen Zellen gehen Plasmafortsätze ab, die sich in der Umgebung verzweigen.

B. Histologische Veränderungen des Pecten nach einmaliger Injektion von Hyaluronidase in den Glaskörper

Nach sterilen, intravitrealen Hyaluronidaseinjektionen läßt sich mit Mukopolysaccharid-Färbungen nachweisen, daß der Glaskörper größtenteils aufgelöst ist. Alcianblaupositive Substanzen treten nur noch als Flecke in den retinalen Grenzzonen in Erscheinung. Die peripheren Glaskörpermembranen sind erhalten.

Der Pecten erscheint in seiner lichtmikroskopischen Struktur wenig verändert. Insgesamt ist kurzzeitig nach der Injektion eine Hyperaemie und Schwellung des gesamten Fächers zu beobachten, die aber schon nach zwei bis sieben Tagen nach der Injektion nicht mehr zu beobachten ist. Auch die Irisgefäße erscheinen stärker gefüllt und deutlich auf der Oberfläche prominent. Stromale Reaktionen fehlen. Die Kammerwinkelregion zeigt ebenfalls lichtmikroskopisch keine wesentlichen Strukturveränderungen.

C. Histologische Veränderungen von Pecten- und Irisgewebe nach mehrmaliger Injektion von Hyaluronidase in den Glaskörper

Schon kurz (3 - 5 Tage) nach einer wiederholten intravitrealen Injektion von Hyaluronidase (100 - 150 IE Kinetin) zeigten sich histologisch am Pecten sowie im Bereich der vorderen Augenhälfte eindrucksvolle Veränderungen in der geweblichen Struktur dieser Organteile.

Der Pecten erscheint im Ganzen stark geschwollen und vergrößert. Die Falten sind kaum noch als solche abzugrenzen. Diese Schwellung geht weniger auf eine Hyperaemie als vielmehr auf eine Zellproliferation und oedematöse Vergrößerung von Kernen und Cytoplasma zurück. Die Kapillarlumina sind kaum noch zu erkennen. Die Endothelzellen erscheinen geschwollen, ihre Kerne vergrößert. Erythrocyten sind stellenweise zwischen den vergrößerten Zellen eingeklemmt oder liegen gar extrazellular.

Auffallend ist die starke Depigmentierung, die besonders basal in Erscheinung tritt. Die Pigmentzellen sind vergrößert, die Kerne zeigen ein bläschenförmiges, vergrößertes Aussehen, das Cyto - plasma ist degranuliert. Das Pigmentgewebe der Brücke ist von diesen Veränderungen relativ am wenigsten betroffen.

Die gliösen, interstitiellen Zellen sind ebenfalls stark vergrößert. Ihre Fortsätze treten deutlich hervor. Die Kerne sind bläschenförmig vergrössert und angeschwollen. Das Interstitium enthält jetzt reichlich kleinkernige Rundzellen und stellenweise auch Plasmazellen sowie mononukleäre Elemente. Demgegenüber scheint der Faseranteil des Pecten nicht eindeutig verändert.

In der Iris sind nach wiederholten Hyaluronidaseinjektionen lediglich im vorderen Stromablatt Gewebsreaktionen nachweisbar. Mantelartig um die Gefäße herum haben sich rundzellige und plasmazelluläre Infiltrate entwickelt. Teilweise erscheinen die adventitiellen Gefäßscheiden verdichtet, vornehmlich durch eine proliferative Vermehrung von Adventitiazellen und Pericyten.

Zahlreiche freie Zellen finden sich auch im Kammerwinkelbereich, insbesondere an der Grenze zum Schlemm`schen Kanal, am bzw. im Trab. corneosclerale. Unter ihnen sind die Plasmazellen vorherrschend. Monocyten, lymphocytäre Rundzellen und vereinzelte Mastzellen wurden ebenfalls gefunden.

Abb. 1

Horizontalschnitt durch den hinteren Abschnitt des Auges von der Taube mit Pecten und Retina (Normales Kontrolltier, Haematoxylin-Eosin, Vergr. 10 x). Man beachte die charakteristische Verteilung der Gefäße im Pecten.

Abb. 2

Querschnitt durch den vorderen Teil des Pecten mit Brücke, 8 Tage nach der 1. Injektion von Hyaluronidase (100 IE Kinetin) und 3 Tage nach der 2. Injektion von Hyaluronidase (100 IE Kinetin). PAS-Reaktion, 25 x Vergr.

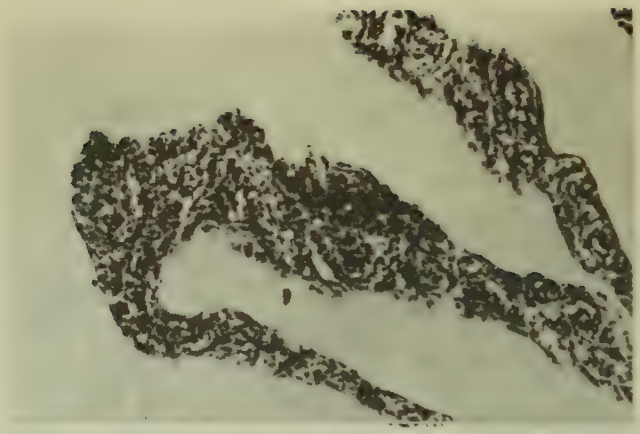

Abb. 3

Dasselbe Präparat wie Abb. 2 (Ausschnittver - größerung, 64 x). Man beachte die reaktive Zell- vermehrung im Bereich des Pecten.

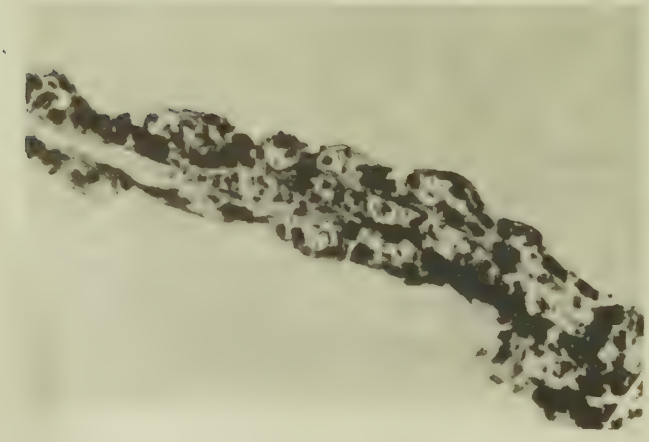

Abb. 4

Ausschnitt aus einem Pectenorgan mit normaler Pigmentverteilung und Gefäßanordnung zum Ver - gleich mit Abb. 2 und 3 (Haematoxylin-Eosin, 160 x).

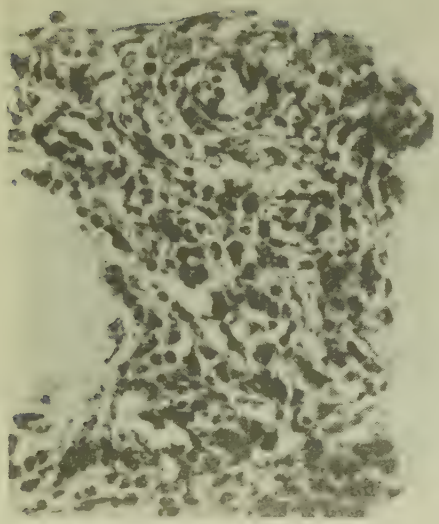

Abb. 5

Derselbe Versuch wie in Abb. 3 mit zweimaliger Hyaluronidaseinjektion im Abstand von 8 und 3 Tagen (Haematoxylin-Eosin, Vergr. 160 x). Man beachte die starken Zellreaktionen, vor allem im Bereich der Gefäßwände sowie die Entpigmentierung.

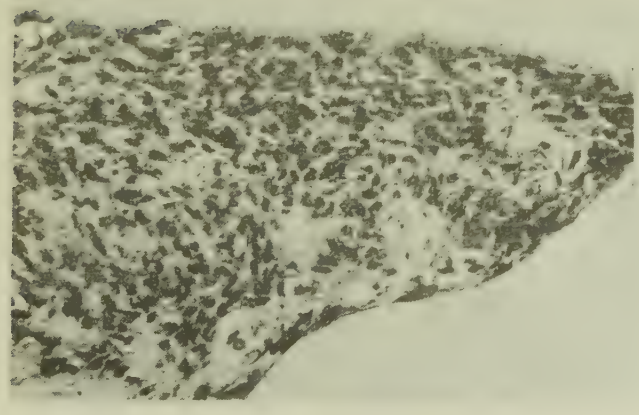

Abb. 6

Ausschnitt aus der Brücke eines Pecten nach zweimaliger Injektion von Hyaluronidase (Haematoxylin-Eosin, Vergr. 160 x). Proliferative Reaktionen im interstitiellen Gewebe und eine Verengerung der Gefäße sind deutlich erkennbar.

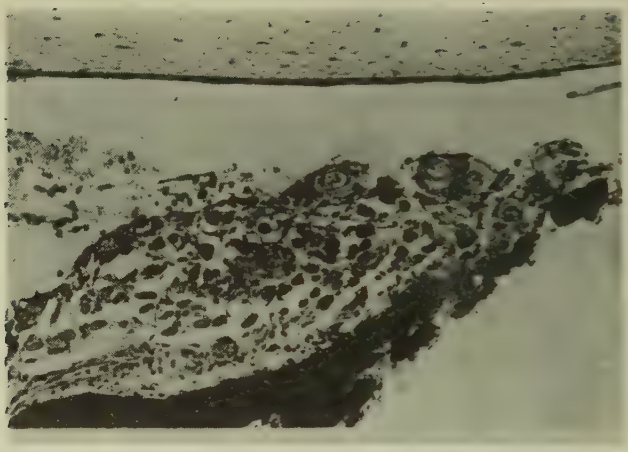

Abb. 7

Querschnitt durch die Iris des normalen Taubenauges (Kontrolltier). (PAS-Haematoxylin, Vergr. 32 x).

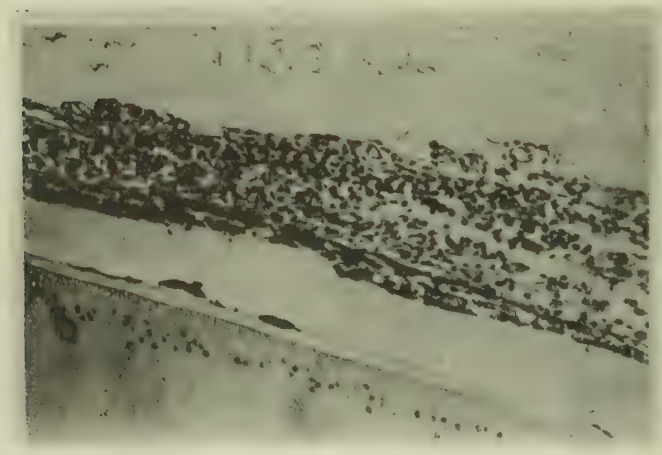

Abb. 8

Querschnitt durch die Iris eines Taubenauges nach zweimaliger Injektion von Hyaluronidase in den Glaskörper (PAS-Haematoxylin, Vergr. 32 x). Man beachte die starke plasmazelluläre Reaktion der vorderen Irisabschnitte.

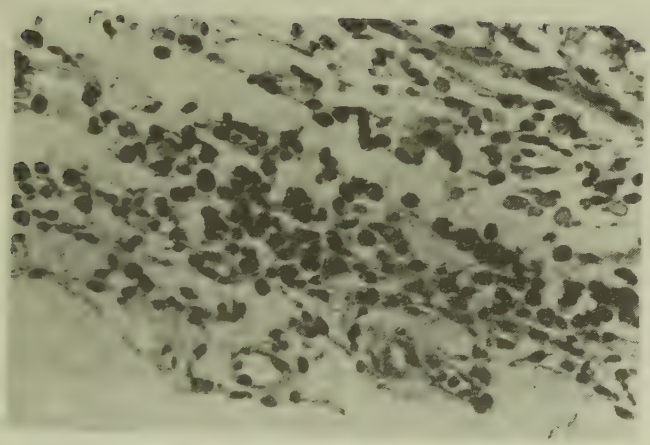

Abb. 9

Ausschnittvergrößerung aus Abb. 8. Irisstroma nach zweimaliger Hyaluronidaseinjektion in den Glaskörper (PAS-Haematoxylin, Vergr. 160 x). Die zellulären Infiltrationen in das Irisstroma bestehen vornehmlich aus Rundzellen und Plasma - zellen.

Reaktive Veränderungen dieser Art waren in allen Versuchen nachweisbar. Das Ausmaß der Reaktionen ist jedoch deutlich geringer, wenn der Zeitpunkt der zweiten Injektion länger als 7 - 10 Tage zurückliegt.

IV. DISKUSSION

Der Pecten repräsentiert eine außergewöhnliche, morphologische Besonderheit im Vogelauge. Elektronenmikroskopisch stellten sich durch neuere Arbeiten (SEAMAN et al. 1963, FISCHLSCHWEIGER und O'RAHILLY 1968 u.a.) spezielle, ungewöhnliche Strukturen des Endothels in Form eines komplizierten Membransystems dar, dessen funktionelle Bedeutung hauptsächlich in einem außergewöhnlich intensiven Flüssigkeitstransport gesehen wird. Neben dem pigmenttragenden, intervaskulären Gliagewebe und dem dichten Gefäßsystem selbst existiert im Pecten keine weitere Gewebsformation. Nervöse Organe an der Oberfläche des Pecten, wie sie FRANZ (1934) beschrieben hat, sind aber von nahezu allen späteren Untersuchern abgelehnt worden. Die funktionelle Bedeutung des Pecten hängt damit weitgehend an dem auffallend stark differenzierten System. Das Vogelauge ist bekanntlich besonders Druckschwankungen beim Flug durch Zentrifugalkräfte beim Sturz- und Kurvenflug ausgesetzt. Da aber der Vogelbulbus durch den fast vollständigen Skleralring starr ist und Druckschwankungen nicht ausgleichen kann, kann ein Druckausgleich nur durch wechselnde Blutfüllung der intraokularen Gefäße ausgeglichen werden. Die zahlreichen, extrabulbären a.-v. Anastomosen, die von ROHEN (1954) nachgewiesen worden sind, könnten als Regulatoren für das intraokulare Blutvolumen funktionieren. Dies wäre möglicherweise auch eine wichtige Funktion des Pecten.

Darüber hinaus konnte gezeigt werden, daß nach experimenteller intraokularer Drucksenkung durch Diamox an den Endothelstrukturen

der Pectenkapillaren erhebliche Veränderungen auftreten, die darauf hindeuten, daß ein erhöhter Flüssigkeitstransport eingetreten war (SEAMAN und HIMMELFARB (1963)). Wenn auch weitere Funktionszusammenhänge in dieser Richtung noch nicht bekannt sind (in der Arbeit wird z.B. darauf hingewiesen, daß die elektronenmikroskopischen Erscheinungen in den Pigmentzellen vermuten lassen, daß diese Zellen die Energiequelle für die erhöhte Aktivität dieses Flüssigkeitstransportes darstellen) so kann man doch vermuten, daß es noch andere Druckregulatoren im Vogelauge gibt, wobei der Pecten eine Rolle spielen muß.

Aspiration des Glaskörpers oder Kammerwasserpunktion, führt zu einer Hyperämie der intraokulären Gefäße, so auch des Pecten (ABELSDORFF und WESSELY 1909). Daß hier nicht nur eine Reaktion auf den herabgesetzten, intraokularen Druck vorliegt, sondern vielmehr mehrere Faktoren eine Rolle spielen, ist wahrscheinlich. Zum Beispiel könnte bereits der Augenflüssigkeitsverlust als Reiz wirken.

Der Pecten nimmt also vermutlich am Stoffwechsel des umliegenden Gewebes teil. ABELSDORFF und WESSELY sahen nach Entfernung von Ziliarkörper und Iris eine Hypertrophie des Pecten. Der Pecten könnte also unter physiologischen Bedingungen an der Sekretion der intraokularen Flüssigkeitssysteme beteiligt sein.

Um diesen Funktionszusammenhang weiter zu prüfen, haben wir durch Hyaluronidaseinjektionen in den Glaskörper das reaktive Verhalten des Pecten erneut untersucht.

Interessanterweise waren die Reaktionen nach einmaliger Injektion von Kinetin in Konzentrationen von 75 - 150 IE gering. Außer einer vorübergehenden Schwellung und Hyperaemie waren strukturelle Veränderungen lichtmikroskopisch kaum nachzuweisen. Hierzu wären jedoch noch elektronenmikroskopische Untersuchungen anzuschliessen, um eine endgültige Aussage zu der Frage, ob der Pecten an der Bildung bzw. Regeneration des Glaskörpers beteiligt ist, machen zu können.

Bemerkenswert ist jedoch der vorliegende Befund, daß nach wiederholten Injektionen von Hyaluronidase in den Glaskörper eine starke zellulär-proliferative Reaktion, im Sinne einer allergischen Reaktion auftritt. Es wäre denkbar, daß durch Zerfallsprodukte des Glaskörpers nach der ersten Hyaluronidaseinjektion die uvealen Gewebe der vorderen Bulbushälfte (Iris, Kammerwinkelgewebe) und der Pecten sensibilisiert worden sind, so daß die zweite Injektion dann eine hypererge Reaktion auslösen kann. Dafür sprechen vor allem die zahlreichen Plasmazellen, die sich allenthalben um die Gefäße herum vorfinden. Ähnliche Gewebsreaktionen wurden auch von ROHEN (1965) nach wiederholten intravitrealen Hyaluronidaseinjektionen am Trabekelwerk des Primatenauges beobachtet. Es erscheint aufgrund dieser eingehenden Studie durchaus berechtigt anzunehmen, daß das Pectengewebe in dieser Hinsicht ähnlich reagiert wie das Trabekelgewebe, zumal vermutlich der gleiche Reiz vorliegt.

V. ZUSAMMENFASSUNG

1. Die histologischen Besonderheiten des sog. "Fächers" im Vogelauge (Pecten oculi), der der Opticuspapille breitbasig aufsitzt und als ein gefäßreiches, nervenfreies Organ große Teile des Glaskörperraumes einnimmt, werden am Beispiel des Taubenauges neu untersucht.

2. In zwei Versuchsreihen wird dann das reaktive Verhalten des Pecten nach intravitrealen Injektionen von Hyaluronidase analysiert. Einmalige Injektionen von 100 - 150 IE Kinetin (Schering) rufen nur geringe morphologische Veränderungen am Gefäßsystem des Pecten hervor. Ansätze zu einem Glaskörperersatz seitens des Pecten konnten im Rahmen des gewählten Beobachtungszeitraumes nicht festgestellt werden.

3. Wiederholte Injektionen von Hyaluronidase in den Glaskörper lösten dagegen starke hypererge Reaktionen am Gefäßapparat des Pecten sowie auch an den Irisgefässen aus, die denen von ROHEN (1965) am Trabekelwerk des Primatenauges beobachteten sehr ähnlich sehen.

4. Aus den Versuchen wird geschlossen, daß der Pecten für die Regeneration des Glaskörpers im adulten Auge nur eine untergeordnete Rolle spielt, wenn eine solche Regenerationsmöglichkeit überhaupt besteht. Andererseits scheint aber das Pectengewebe durchaus am Glaskörperstoffwechsel Anteil zu nehmen und durch die Glaskörpergallerte hindurch die Netzhaut zu versorgen.

VI. LITERATURVERZEICHNIS

ABELSDORFF, G.
Über das Verhalten des Pekten bei der Akkommodation des Vogels.
Arch. f. vergl. Ophthal. Nr. 3, 290-292 (1910)

ABELSDORFF, G. und WESSELY, R.
Vergleichende physiologische Untersuchungen über den Flüssigkeitswechsel in der Wirbeltierreihe, 1. Vögel.
Arch. f. Augenheilkd. 64 (1909) (Ergänzungsband)

BACHSICH, P. und GELLERT, A.
Beiträge zur Kenntnis der Struktur und Funktion des Pekten im Vogelauge.
A. v. Graefes Arch. Ophthal. 133, 448-460 (1935)

BECKER, B.
Carbonicanhydratase and formation of aqueous humor.
Amer. J. Ophthal. 47, part 2, 342-361 (1959)

BEER, TH.
Studium über die Akkommodation des Vogelauges.
Pflügers Archiv 53, 175-237 (1893)

BLOCHMANN, F. und VON HUSEN, E.
Ist der Pekten des Vogels ein Sinnesorgan?
Biolog. Zentralblatt 31, 150-156 (1911)

CROZIER, J.W. und WOLF, E.
Theory and measurment of visual mechanisms. Modifications of the flicker response contour, and the significance of the avian pecten.
J. General Physiology 27, 287-313 (1944)

- - Theory and measurment of visual mechanisms- The reactions of flicker response outside of the fovea.
J. General Physiology 25, 293 (1941/42)

- - Theory and measurement of visual mechanisms. Flicker response cotours for the sparrow, and the theory of the avian pecten.
J. General Physiology 27, 315-324 (1944)

DENISSENKO, G.
Über den Bau und die Funktion des Kammes im Auge des Vogels.
Arch. mikroskop. Anat. 19 (1880)

FISCHLSCHWEIGER, W. und O`RAHILLY, R.
The ultrastructure of the pecten oculi.
Anat. Rec. 148, 282 (1964)

-- The ultrastructure of the pecten oculi in the chick.
Acta Anat. 65, 561-578 (1966)

FRANZ, V.
Das Pekten, der Fächer im Vogelauge.
Biolog. Zentralblatt, 28, 450-568 (1908)

- Der Fächer im Auge der Vögel.
Verhandlg. dt. zoolog. Gesellschaft, 18. Verslg.
Stuttgart, Berlin 1908

- Vergleichende Anatomie des Wirbeltierauges.
Aus: Handbuch der vergleichenden Anatomie der Wirbeltiere, hrsg. v. L. Bolk, E. Göppert, E. Kallius und W. Lubosch, Bd. II/2. Berlin: Urban & Schwarzenberg 1934

HUSEN VAN, E.
Zur Kenntnis des Pekten im Vogelauge.
Zool. Jb. Anat. 36, 1913

KAJIKAWA, J.
Beiträge zur Anatomie und Physiologie des Vogelauges.
A. v. Graefes Arch. Ophthal. 112-124 (1924)

KAUTH, H. und SOMMER, H.
Über die Funktion des Pekten.
Biolog. Zentralblatt, 72, 196-209 (1953)

LANGHAM, M.E.
Aquous humor and control of intraocular pressure.
Physiol. Review, 2, 215-245 (1958)

LEINER, M.
Über die Bedeutung des Pekten im Vogelauge.
Verhandlg. dt. Zoologen, Marburg, 117-123 (1950)

MANN, I.
The Pecten of Gallus domesticus.
Quart. J. microscop. Sci. 68, 413-443 (1924 a)

- The function of the Pecten.
Brit. J. Ophthal., London, 8, 209-226 (1924 b)

MENNER, E.
Die Bedeutung des Pekten im Auge des Vogels.
Zool. Jb. 58, 481-538 (1938)

MIHALKOVICS, V.
Untersuchung über den Kamm des Vogelauges.
Arch. mikroskop. Anat. 9, 591-597 (1873)

O 'RAHILLY, R. und MEYER, D.
The development and histochemistry of the pecten oculi.
In: The structure of the Eye, Ed. G.K.Smelser,
Academic Press, New York, 207-219 (1961)

RABL, C.
Über den Bau und Entwicklung der Linse.
Zsch. wiss. Zool. 1898

RAVIOLA, E. und RAVIOLA, G.
A light- and electronenmicroscopic study of the pecten oculi of the pigeon eye.
Amer. J. Anat. 120, 427-462 (1967)

ROHEN, J.W.
Arterio-venöse Anastomosen in der Orbita bei Vögeln.
Morphol. Jb. 95, 364-383 (1955)

- Über die reaktiven Veränderungen des Trabeculum corneosclerale im Primatenauge nach Einwirkung von Hyaluronidase.
Zsch. Zellforsch. 65, 627-645 (1965)

SEAMAN, A.R.
A correlated light- and electronmicroscope study of the pecten oculi in the adult chicken.
Anat. Rec. 142, 277-278 (1962)

SEAMAN, A.R. und HIMMELFARB, F.M.
Correlated ultrafine structural changes of the avian pecten oculi and ciliary body of Gallus domesticus, preluminary observation on physiology.
I. Effects of decreased intraocular pressure induced by intravenous injection of acetazolamide.
Amer. J. Ophthal. 56, 278-296 (1963)

SEAMAN, A.R. und STORM, H.
A correlated light- and electronmicroscope study on the pecten oculi of the domestic fowl.
Exp. Eye Res. 2, 163-172 (1963)

SEAMAN, A.R. und STORM, H.
The uptake and transport of coloidal particles in the capillaries of the pecten oculi of the domestic fowl (Gallus domesticus).
Anat. Rec. 154, 488 (1966)

SEMBA, T.
The fine structure of the pecten oculi studied with the electronmicroscope. I. Chicken-pecten.
Kyusku J. med. science 13, 217-232 (1962)

SLONAKER, J.R.
A physiological study of the anatomy of the eye and its accessory parts of the English sparrow (passer domesticus).
J. Morph. 35, 351-434 (1918)

STAUBESAND, J. und ANDRES, K.H.
Graphische Rekonstruktionen zur räumlichen Darstellung praeterminaler Gefäße und intravaskulärer Besonderheiten.
Mikroskopie 8, 111-120 (1953)

TANAKA, H.
The blood-vessel distribution and pigmentation in Pecten of Japanese birds.
Jap. J. Med. Sciences 7, 133-151 (1938)

TANAKA, A.
Electron microscope study of the avian pecten.
I) Dobubugaku Zasski 69, 314-317 (1960)

ZIMMERMANN, K.W.
Der feinere Bau der Blutkapillaren.
Zsch. Anat. Entw.gsch. 68 (1923)

Herrn Professor Dr. J.W. Rohen möchte ich für die Überlassung des Themas sowie seine freundliche Unterstützung bei der Abfassung der Arbeit herzlich danken.

Meine akademischen Lehrer waren die Herren Professoren und Dozenten:

Universität Giessen:

ANKEL, BLASIUS, V. DEUFFER, DODT, EWALD, FRITZ, GRAUMANN, HANLE, KIRSCH, KRÖHNKE, W. P. NAUMANN, OKSCHE, ROHEN, ROLLHÄUSER, SCHARMANN, STAUDINGER, THAUER

Universität Innsbruck:

BAUMGARTNER, BERGER, BRAUNSTEINER, HALHUBER, HEINZ, HUBER, KONZETT, TAPFER, WUNDERER

Universität Marburg:

BECKMANN, BERENDES, BOMMER, BRAUN-FALCO, BUCHHOLZ, DÖLLE, EXNER, GEDIGK, HAMM, HERRMANN, HILDEBRANDT, JACOB, KNAUFF, LEHMANN-GRUBE, LINNEWEH, LÖHR, LÜBBERS, MANN, MARTINI, MARX, DU MESNIL, NEURATH, RODECK, RODENHÄUSER, ROHEN,SALFELD, SAUER, SCHIFF, SCHLOSSER, SCHLEYER, SCHMID, SCHRAPPE, SCHWAIGER, SIEGERT, SIESS, STAIB, STRAUB, STREICHER, WÜRTERLE.

LEBENSLAUF

Als Sohn des Oberforstmeisters Wilhelm Groos und seiner Ehefrau Annaliese, geb. Scotti, wurde ich als deren zweites Kind am 30. 8. 1942 in Würzburg geboren.

Ostern 1949 wurde ich in die Grundschule zu Viernheim (Kreis Bergstraße) eingeschult. Ab Ostern 1953 bis Oktober 1956 besuchte ich das dortige Gymnasium. Da mein Vater nach Erbach im Odenwald versetzt wurde, wechselte ich im Herbst 1956 in das Gymnasium in Michelstadt (Odenwald) über. Dort entschied ich mich in der Oberstufe für den mathematisch-naturwissenschaftlichen Zweig und legte im Februar 1962 das Abitur ab.

Im Sommersemester 1962 immatrikulierte ich mich an der naturwissenschaftlich-philosophischen Fakultät der Justus-Liebig-Universität in Gießen. Schon während dieses ersten Semesters entschloß ich mich, die Fakultät zu wechseln und studierte ab Wintersemester 1962/63 Medizin in Gießen. Hier bestand ich im Oktober 1963 das Vorphysikum und im April 1965 das Physikum. Nachdem ich das erste klinische Semester an der Philipps-Universität in Marburg studiert hatte, wechselte ich für das Wintersemester 1965/66 an die Universität Innsbruck über. Im Sommersemester 1966 kehrte ich wieder an die Universität Marburg zurück und legte hier am 23. 7. 1968 das Staatsexamen ab.

Als Medizinalassistent arbeitete ich zunächst 4 Monate an der Universitäts-Kinderklinik und 4 Monate an der Medizinischen-Universitätsklinik Marburg.

Seit 31. 12. 1968 bin ich verheiratet.